

**MONITOREO DE VARIABLES ELÉCTRICAS Y TRANSMISION A UN SISTEMA  
RECEPTOR DE MANERA INALÁMBRICA**

**DANILO ALCIDES LONDOÑO LOAIZA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
PEREIRA, COLOMBIA  
2019**

**MONITOREO DE VARIABLES ELÉCTRICAS Y TRANSMISION A UN SISTEMA  
RECEPTOR DE MANERA INALÁMBRICA**

**DANILO ALCIDES LONDOÑO LOAIZA**

**TESIS DE GRADO**

**LUIS HERNANDO RÍOS GONZÁLEZ. PHD©**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**  
**PEREIRA, COLOMBIA**  
**2019**

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

FIRMA DEL DIRECTOR

---

FIRMA JURADO

---

FIRMA JURADO

Pereira, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ del 2019

## DEDICATORIA

Este proyecto de grado es dedicado **A MI FAMILIA** y a todas las personas que hicieron parte de mi vida en este proceso, especialmente **A MI HERMANO ISAAC** quien ha sido la persona más influyente en mi vida y quien me ha dado su apoyo incondicional para alcanzar este sueño que un día comenzó y hoy se ve culminado. **A MI HIJO DANIEL** que es la alegría y motivación más grande que DIOS me ha dado para crecer y mejorar en todos los aspectos de mi vida.

## AGRADECIMIENTOS

A la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**, especialmente a la planta docente que con su calidad y trabajo proporcionan la mejor educación y respaldo a todos los estudiantes. Agradezco de forma muy especial al ingeniero **LUIS HERNANDO RÍOS GONZÁLEZ** quien fue mi director de tesis y siempre estuvo atento a proporcionarme los elementos necesarios para culminar mi proyecto de grado. A mis compañeros con los cuales compartí grandes anécdotas y construí verdaderas amistades.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. METODOLOGÍA	3
2. DESARROLLO	4
2.1. ADQUISICIÓN DE SEÑAL	4
2.1.1. ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL, ETAPA DE AMPLIFICACIÓN	9
2.1.2. RECTIFICACIÓN Y FILTRADO	13
2.1.3. PROGRAMACIÓN Y MONTAJE EN ARDUINO	16
2.2. REPORTE DE FASE	23
2.3. CONEXIÓN INALÁMBRICA	28
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	32
3.1. MEDICIÓN DE CORRIENTE Y DESFASE	32
4. ETAPA DE PROGRAMACIÓN Y TRANSMISIÓN INALÁMBRICA.	42
5. CONCLUSIONES, APORTES Y RECOMENDACIONES	43
6. BIBLIOGRAFÍA	44

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Materiales necesarios para la etapa de adquisición de señal.	8
Tabla 2. Materiales necesarios para la etapa de acondicionamiento amplificador de señal.	12
Tabla 3. Materiales necesarios para la etapa de rectificación y filtrado de la señal.	15
Tabla 4. Equipos y materiales utilizados para la etapa de programación.	22
Tabla 5. Componentes usados para la conexión inalámbrica	31
Tabla 6. Mediciones de corriente del circuito resistivo.	33
Tabla 7. Error calculado de las mediciones al circuito resistivo.	34
Tabla 8. Mediciones de corriente del circuito inductivo.	35
Tabla 9. Error calculado de las mediciones de corriente del circuito inductivo	35
Tabla 10. Mediciones de desfase del circuito inductivo.	36

Tabla 11. Error calculado de las mediciones de desfase del circuito inductivo.	36
Tabla 12. Mediciones de corriente de la combinación de circuito inductivo y resistivo.	37
Tabla 13. Error calculado de las mediciones de corriente de la combinación de Circuito inductivo y resistivo.	38
Tabla 14. Mediciones de desfase de la combinación de circuito inductivo y resistivo.	38
Tabla 15. Error calculado de las mediciones de desfase de la combinación de Circuito inductivo y resistivo.	39



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Modelo de la bobina de Rogowski.	XI
Figura 2. Bobina de Rogowski y circuito de procesamiento.	4
Figura 3. Circuito que se acopla con la bobina de Rogowski.	5
Figura 4. Señales de corriente con respecto a voltaje tomadas de la bobina de Rogowski.	6
Figura 5. Señales de fase con respecto a desfase tomadas de la bobina de Rogowski.	7
Figura 6. Montaje circuito acondicionamiento de amplificación.	10
Figura 7. Resultados simulación acondicionamiento de amplificación en el software Proteus.	10
Figura 8. Relación de entrada y salida para la amplificación.	11
Figura 9. Montaje de la amplificación en protoboard.	11
Figura 10. Montaje de la etapa de rectificación y filtrado en la protoboard.	13
Figura 11. Resultados visualizados en el osciloscopio del circuito en Proteus.	14

Figura 12. Montaje de la etapa de rectificación y filtrado en la protoboard.	14
Figura 13. Montaje con la tarjeta de procesamiento Arduino.	16
Figura 14. Esquema de conexión del Arduino con el reloj RTC y la pantalla LCD.	17
Figura 15. Ecuación lineal que relaciona el valor real de corriente y el voltaje Que entra al arduino.	18
Figura 16. Modulo bluetooth asociado a la tarjeta Arduino.	30
Figura 17. Icono del programa bluetooth terminal HC-5.	31
Figura 18. Función de error entre las medidas de corriente del circuito resistivo.	40
Figura 19. Función de error entre las medidas de corriente del circuito inductivo.	40
Figura 20. Función de error entre las medidas de desfase del circuito inductivo.	41
Figura 21. Documento de Excel de la etapa de programación.	
Figura 22. Visualización de la pantalla LCD durante la ejecución del programa.	42
Figura 23. Visualización de las variables voltaje y corriente en el dispositivo móvil.	43

## GLOSARIO

BOBINA DE ROGOWSKI es un sensor de voltaje que a través de un circuito integrado presenta una señal digital de corriente y desfase. Consiste en un conductor enrollado de forma toroidal y debe envolver alrededor del conductor que lleva la corriente que se desea medir. La figura 1 ilustra mucho mejor su funcionamiento, el cual se modela como un inductor con inductancia mutua en corriente primaria.

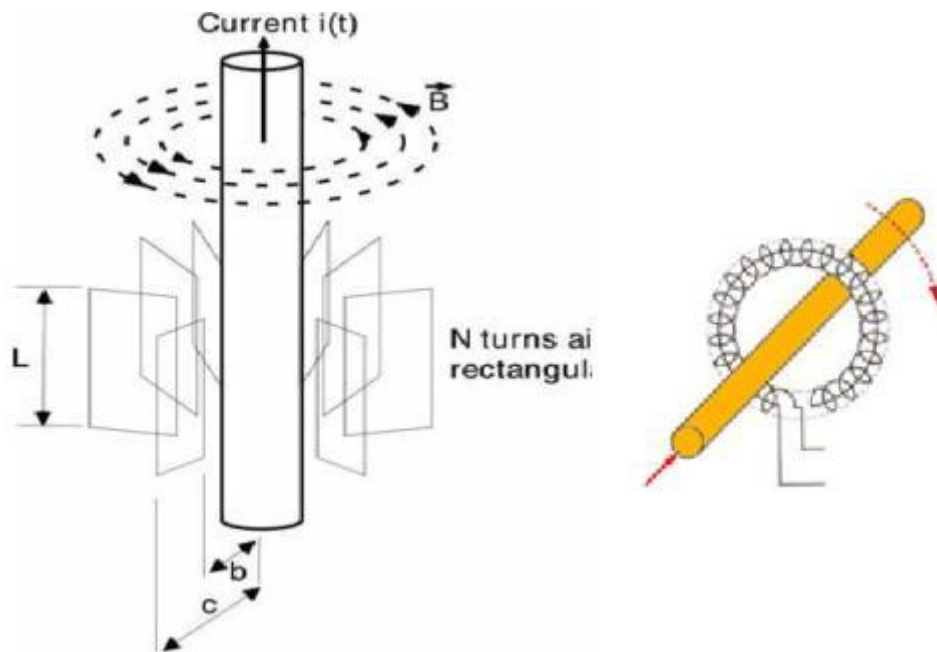


Figura 1. Modelo de la bobina de Rogowski.

ARDUINO circuito impreso que contiene un microcontrolador y un entorno de desarrollo. Enfocado a la programación académica cuenta con diferentes modelos con diferentes características para cada aplicación.

ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL proceso realizado en una señal para cambiar sus características a niveles de tensión y de corriente apropiados para ser recibidos por algún equipo o hardware. Consiste en configuraciones de electrónica analógica y/o digital.

MUESTREO rastreo de la señal eléctrica en busca de un conjunto de datos de sus características en un periodo de tiempo a ciertos intervalos.

XBEE Comunicación inalámbrica provista por un módulo que se acopla al diseño y transmite a algún receptor un conjunto de datos a través de algún microprocesador.

CIRCUITO INTEGRADO estructura de material semiconductor adaptado a un circuito impreso. En él se fabrican circuitos electrónicos y está encapsulado pero con conductores metálicos para hacer contacto con el circuito impreso. [1]

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años el avance tecnológico ofrecido por las distintas empresas comprometidas con el monitoreo y procesamiento de variables eléctricas es muy sofisticado, teniendo gran variedad de instrumentos con un alto grado de precisión que facilitan un correcto análisis de los datos medidos en la red de distribución o maquinas eléctricas que se desean controlar, Sin embargo, existe un tema que es de suma importancia para todo sistema eléctrico: la eficiencia y confiabilidad del sistema, dicho tema involucra una serie de parámetros como el tiempo requerido para la medición de variables, la complejidad de los procesos concernientes al procesamiento de datos, el fraude en el consumo de potencia por parte de los usuarios y los costos requeridos para garantizar un buen proceso. Y aunque las empresas que prestan el servicio de energía luchan cada día por tener un sistema controlado hay factores que son muy difíciles de manejar como: aumento inesperado de la demanda, fraude en la carga instalada, tiempo requerido para el procesamiento de los datos de la medición, errores humanos en la medición y validación de consumo de potencia, entre otros. Por lo tanto, es necesario que los instrumentos de medida no solo garanticen una excelente precisión, si no también que el proceso de medición sea económico, eficiente, confiable y práctico haciendo que sus procesos sean más rápidos. De lo anterior, surge una pregunta que es la base del presente documento: ¿es posible hacer el monitoreo de variables eléctricas mediante un sistema confiable, eficiente, practico y de bajo costo? De lo anterior se origina una excelente alternativa que ofrece el uso de un dispositivo que se puede clasificar como un medidor inteligente que sensa una señal eléctrica proveniente de una línea de distribución o acometida e inmediatamente envía dicha señal a un dispositivo móvil mediante transmisión inalámbrica obteniendo de esta forma valores de consumo acertados y confiables. Este sistema permite hacer mediciones de variables eléctricas de una manera práctica, y de bajo costo al reducir el número de operarios para dicha actividad, garantizando un proceso eficiente y confiable al disminuir el tiempo de los procesos, brindando mediciones más acertadas sin el inconveniente de posibles errores humanos. Combinando así un dispositivo que mide la variable de una manera práctica y una conexión inalámbrica que entrega los valores medidos de

forma rápida y acertada. De igual manera, este dispositivo tiene la facilidad de ser implementado en máquinas eléctricas donde se desee tener un monitoreo de variables en tiempo real permitiendo hacer procesos más eficientes y confiables. Ejemplo de esto, podemos citar el monitoreo de un transformador de distribución el cual se encuentra a una distancia tal que no es posible obtener medidas de sus variables eléctricas de una forma práctica y rápida. Para este caso, se hace conveniente la implementación del dispositivo de monitoreo de variables presentado en este proyecto, el cual permitirá tener los valores de las variables eléctricas asociadas a dicho transformador de una forma rápida, confiable y segura, mejorando la eficiencia del sistema, monitoreando el estado del transformador y haciendo comparativos de la potencia entregada y la potencia consumida por el usuario, determinando así posibles fraudes o fallas en el sistema eléctrico.

La facilidad y rapidez de obtener datos del sistema de una forma eficiente, confiable y más económica es un factor fundamental a la hora de optimizar procesos en los sistemas eléctricos.

## 1. METODOLOGÍA

En la actualidad se cuenta con gran número de sistemas que monitorean las señales eléctricas, llegado a ser muy precisos y eficientes con gran variedad de diseños que permiten obtener valores en tiempo real. Estos sistemas involucran tecnología de punta logrando ser muy confiables pero a la vez muy costosos. Muchos de estos sistemas involucran sensores y dispositivos electrónicos que hacen el acondicionamiento de señal y su procesamiento en un solo bloque. De igual forma, cada vez las industrias invierten más dinero en instrumentación y control de sus procesos advirtiendo con esto sobre etapas de monitoreo con mucha capacidad para sensar, procesar y ajustar los valores de las variables correspondientes. Por lo tanto, se desea establecer una nueva alternativa que genere un sistema de monitoreo eficiente, confiable, practico y con un bajo costo en comparación con los sistemas descritos anteriormente.

Este proyecto plantea implementar el uso de un dispositivo poco comercial como la bobina de Rogowski para hacer el monitoreo de variables eléctricas, usando electrónica digital al proponer circuitos acondicionadores de señal que permiten aumentar o disminuir los niveles de tensión para que el microprocesador Arduino pueda procesar dichos valores enviándolos mediante una transmisión inalámbrica a través de un dispositivo móvil con tecnología Android, el cual a su vez puede enviar dicha información a un portal asociado a la empresa que requiere la información o simplemente a un sistema de monitoreo que requiera hacer ajustes de variables en máquinas eléctricas.

Con lo anterior, se desea elaborar un sistema de monitoreo que tenga características esenciales para minimizar tiempos de medición y abaratar costos, aumentando la eficiencia y la confiabilidad de los sistemas eléctricos. Sin embargo, se debe tener en cuenta que este proyecto tiene fines académicos y el presupuesto establecido es bajo restándole calidad a los materiales e instrumentos usados para las respectivas pruebas.

## 2. DESARROLLO

El presente trabajo de grado es desarrollado en dos etapas:

- **Adquisición y acondicionamiento de la señal**
- **Transmisión inalámbrica y procesamiento de la variable medida**

### 2.1 Adquisición de la señal.

Para esta etapa se utilizó un transductor poco comercial llamado la bobina de Rogowski. Dicho elemento se acopla a un circuito de procesamiento de señal para realizar la experimentación. La medición de la señal se hace encerrando el conductor energizado con la bobina, obteniendo de esta forma la medición de una señal eléctrica que puede ser visualizada en el osciloscopio. A continuación se muestra la bobina con su tarjeta.



Figura 2. Bobina de Rogowski y circuito de procesamiento.

Dicho circuito de procesamiento tiene las siguientes funciones:

- Recibir la señal de la bobina de Rogowski.
- Entregar las señales de voltaje, corriente y fase.



La alimentación del circuito de procesamiento se hace con un transformador 115V/9V/6V. Esto se visualiza en la figura 3.

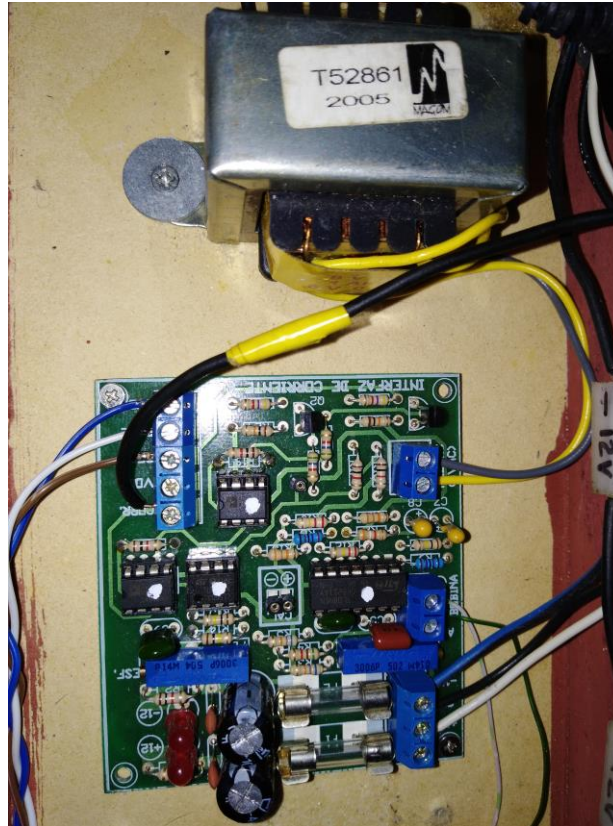


Figura 3. Circuito de procesamiento que se acopla con la bobina de Rogowski.

Dicho circuito permite obtener 3 medidas caracterizadas por valores en voltaje, la primera hace referencia al voltaje de alimentación, la segunda a la corriente consumida y la tercera muestra el desfase entre la señal de voltaje y la señal de corriente.

Para obtener las señales mencionadas anteriormente se hace uso del osciloscopio y la respectiva medición en los terminales de salida del circuito de procesamiento. La medición de voltaje se logra midiendo entre los terminales marcados como VOLT y GND, la medida de corriente se obtiene midiendo entre los terminales marcados como VOLT (para este caso es la referencia con respecto a tierra GND) y el terminal CORR; de igual manera la medida del desfase entre las dos señales (voltaje y corriente) se hace midiendo entre los terminales FASE Y DESF.

La figura 4 muestra la gráfica en el osciloscopio de la medición hecha entre los terminales VOLT y CORR, cuyos valores de amplitud están dados en voltios y milivoltios respectivamente, Para obtener el valor real de la corriente se efectúa el cálculo de esta a partir de una regla de 3 simple con la cual viene caracterizada la bobina.

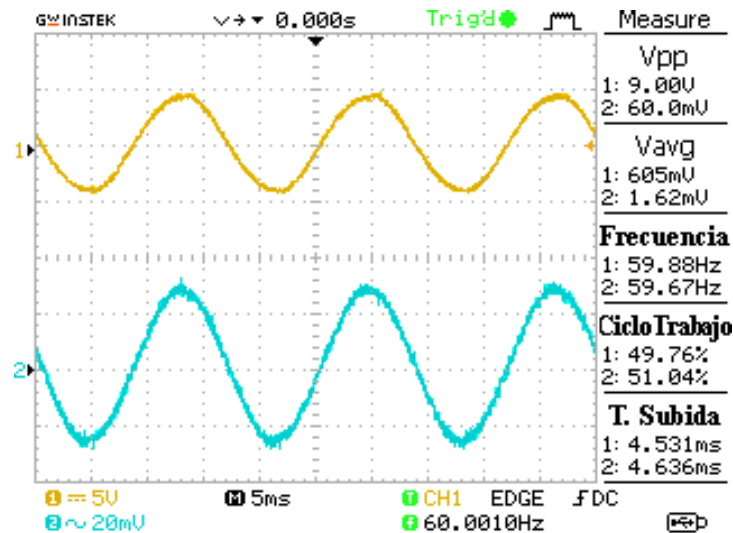


Figura 4. Señales de corriente con respecto a voltaje tomadas de la bobina de Rogowski.

La regla de 3 para la conversión de amplitud de voltaje a amplitud de corriente se muestra a continuación:

- $60\text{mVpp} \rightarrow 3\text{Arms}$
- $10\text{mVpp} \rightarrow 1\text{Arms}$
- $4.5\text{Vpp} \rightarrow 450\text{Arms}$

Esto quiere decir q se pueden medir desde 3Arms hasta 450Arms con una buena cantidad de certidumbre probada en la experimentación relacionada con su creación.

La figura 5 muestra la medición del desfase entre la señal de voltaje y la señal de corriente, dicha medición se realiza entre los terminales denominados DESF. Y FASE. La medición consiste en

utilizar el cursor correspondiente a la distancia (tiempo) del osciloscopio para estimar el valor del ángulo de desfase entre las dos señales.

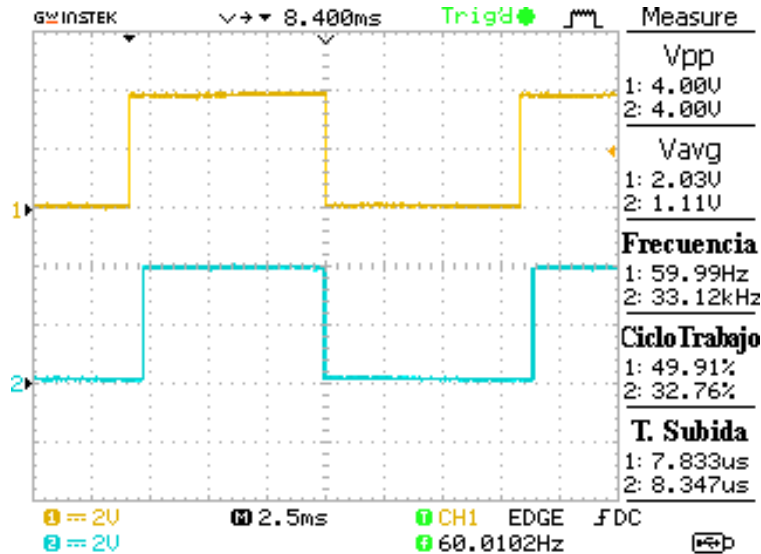


Figura 5. Señales de fase con respecto a desfase tomadas de la bobina de Rogowski.

Cabe resaltar que el diseño de la tarjeta de la bobina es por flancos de bajada. La medida del desfase se obtiene estimando el tiempo entre los flancos de ambas señales y aplicando la siguiente formula obtenemos el valor del ángulo en radianes.

$$W=2*\pi*f$$

$$\text{Theta}=w*t$$

En las experimentaciones anteriores se utilizó un equipo comercial para corroborar los datos obtenidos llegando a valores de voltaje, corriente y angulo de fase muy cercanos a los proporcionados por la tarjeta de la bobina.

A continuación en la tabla 1 se hace una descripción de los materiales utilizados para la etapa de adquisición de las señales con la bobina de Rogowski.

Tabla 1. Materiales necesarios para la etapa de adquisición de señal.

Equipo/material	Cantidad	Característica
Bobina de Rogowski	1	1Arms a 450Arms
Circuito integrado	1	Adherido a la bobina de Rogowski
Banco bombillas	2	60 W
Inductancias	6	280mH
Clavija	1	Monofásica
Transformador	1	115V/6V
Breaker	1	20 A
Cables		
HD74LS14P	1	
Protoboard	1	
Medidor de armónicos	1	Equipo comercial
Osciloscopio	1	
Puntas de osciloscopio	2	
Pinza amperimétrica	1	

### **2.1.1. Acondicionamiento de Señal, etapa de amplificación.**

La presente etapa consiste en ajustar los valores medidos de tipo AC en valores de tipo DC, esto con el fin de ser procesados por un microcontrolador que solo recibe señales de tipo DC.

Por lo tanto, se debe implementar un circuito de rectificación y filtrado que transforme la señal AC en DC. Teniendo en cuenta que la tarjeta electrónica que acompaña a la bobina está compuesta por elementos electrónicos que consumen energía y esto hace que no se visualicen los valores correctos, primero se debe implementar un circuito amplificador que acondicione la señal entregando valores que puedan ser procesados por la etapa de rectificación y filtrado. Por lo tanto, se implementó un circuito amplificador que incrementa los valores entregados por la tarjeta según la siguiente escala.

Escala 1: valores entre 0.1 V y 2.6 V se eleva a valores entre 0 V y 15 V

Escala 2: valores entre 2.7 V y 5 V no se amplifican

Dicha amplificación tiene conexión con el circuito integrado del sensor mediante un seguidor de tensión para aislar la salida y la entrada al amplificador, de igual forma para evitar que las señales se atenúen por amplificadores de baja impedancia de entrada.

Las figura 6 muestra el montaje diseñado para el acondicionamiento amplificador en el software de simulación Proteus. Dada la simulación del circuito y teniendo en cuenta que para las señales mayores a 2.7 V no se realiza la amplificación, se diseñó un circuito real con elementos que tienen valores muy cercanos a los del diseño.

Los resultados de dichas simulaciones en Proteus se muestran en la figura 7.

De igual forma la figura 8 muestra la relación lineal entre la entrada y salida del circuito de amplificación y la figura 9 muestra el montaje real en una protoboard

Cabe resaltar que la experimentación para comprobar la funcionalidad de los diseños en la realidad se hizo con un generador de corriente que inyectora 15, 20 y 30 A.

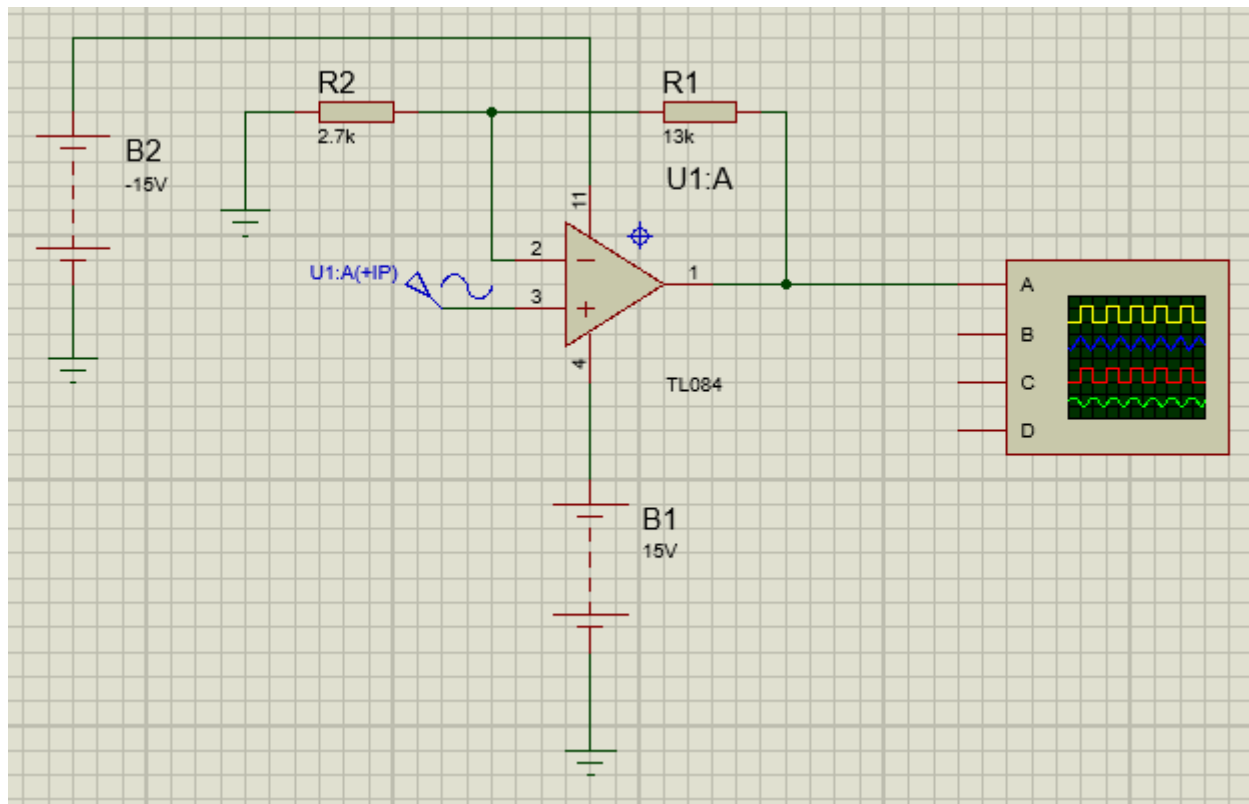


Figura 6. Montaje circuito acondicionamiento de amplificación.

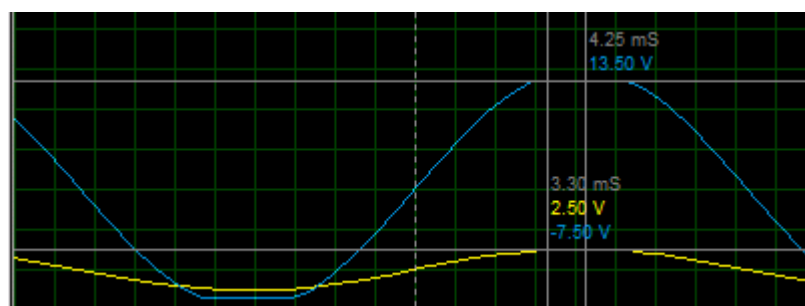


Figura 7. Resultados simulación acondicionamiento de amplificación en el software Proteus.

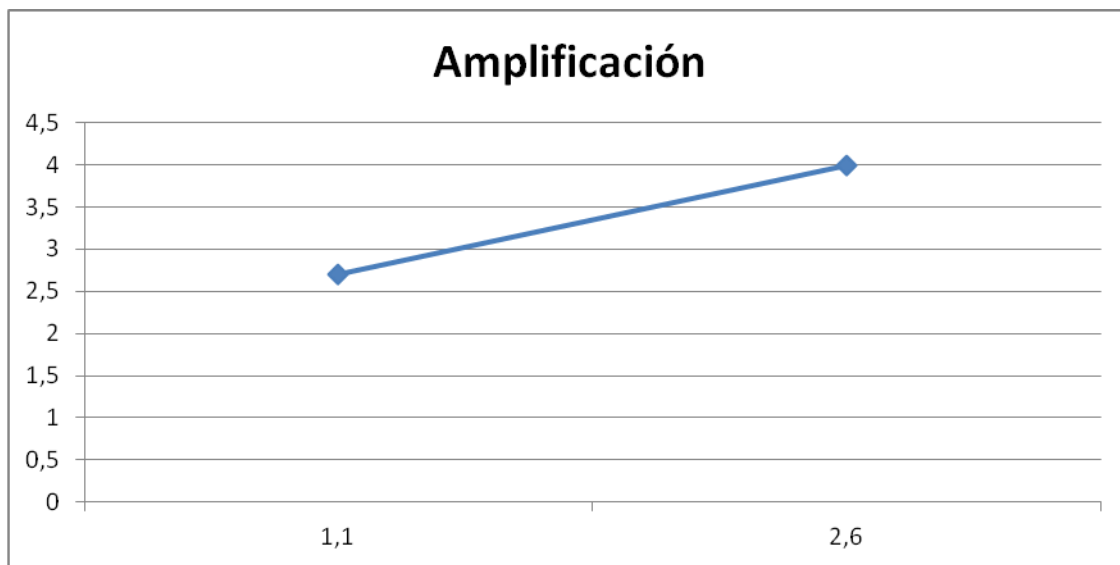


Figura 8. Relación de entrada y salida para la amplificación.

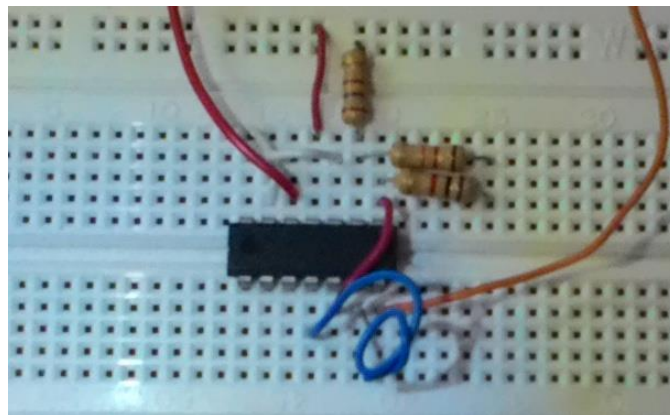


Figura 9. Montaje de la amplificación en protoboard.

A continuación la tabla 2 muestra los elementos usados para el montaje anterior, al igual que sus características.

Tabla 2. Materiales necesarios para la etapa de acondicionamiento amplificador de señal.

Equipo/material	Cantidad	Característica
Amplificador operacional	1	TL084
Resistencia	1	12 k $\Omega$
Resistencia	1	2.7 k $\Omega$
Resistencia	1	1 k $\Omega$
Generador de señales	1	
Osciloscopio	1	
Cables		
Puntas del osciloscopio		
Protoboard	1	
Fuente DC	1	15 V bipolar.



### 2.1.2. Rectificación y filtrado

Como se indicó anteriormente la etapa de rectificación y filtrado permite que la señal obtenida pueda ser procesada por el microcontrolador ya que este requiere trabajar con valores en DC. La figura 8 muestra el montaje diseñado en el software Proteus del circuito de rectificación y filtrado. Los resultados de dichas simulaciones en Proteus se muestran en la figura 9. De igual forma, el figura 10 muestra el montaje real de la etapa de rectificación y filtrado en la protoboard. Finalmente, la tabla 3 muestra los materiales usados para la etapa de rectificación y filtrado de la señal.

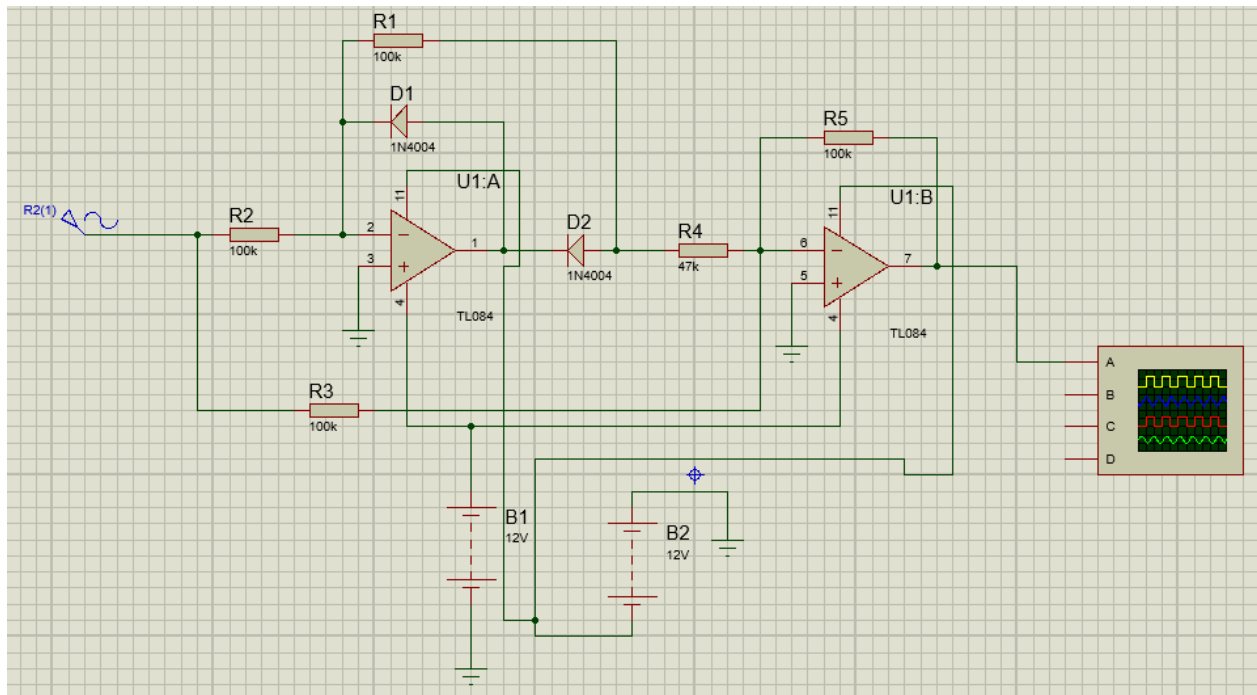


Figura 10. Simulación del circuito rectificador en Proteus.

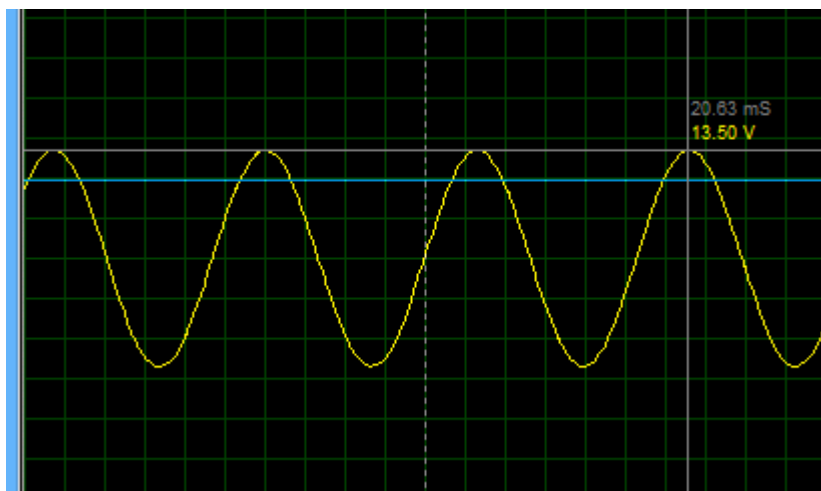


Figura 11. Resultados visualizados en el osciloscopio del circuito en Proteus.

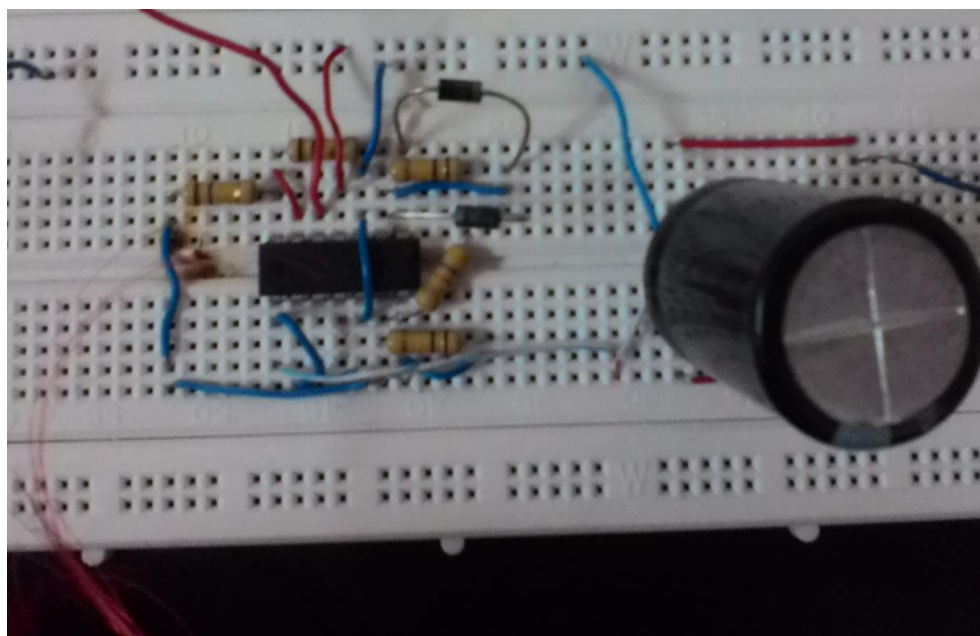


Figura 12. Montaje de la etapa de rectificación y filtrado en la protoboard.

Tabla 3. Materiales necesarios para la etapa de rectificación y filtrado.

Equipo/material	Cantidad	Característica
Amplificador operacional	1	TL084
Resistencia	2	2.7k $\Omega$
Resistencia	1	39k $\Omega$
Resistencia	1	12 k $\Omega$
Resistencia	1	1k $\Omega$
Diodo 1N4004	2	60 W
Capacitor	1	55uF
Fuente DC	15V	
Osciloscopio		

### 2.1.3. Programación y montaje en Arduino

Después que la señal de corriente y voltaje pasan por la etapa de acondicionamiento y rectificación, estas entran a la tarjeta de procesamiento de arduino con valores acordes para el funcionamiento de esta y por medio de su software se lleva a la visualización de estos datos a través de una pantalla lcd y un teléfono móvil mediante conexión bluetooth. El montaje de este circuito se muestra en la figura 14. De igual manera, la figura 15 muestra el esquema de conexión del Arduino con el reloj RTC y la pantalla LCD, En dicha grafica se puede observar la conexión con dos potenciómetros, los cuales fueron utilizados para realizar las pruebas originales de procesamiento de los posibles datos analógicos. Los potenciómetros simulan una señal variable de voltaje. El montaje está acoplado a una pantalla LCD para realizar seguimiento de las instrucciones y del procesamiento de los datos, también se puede observar la conexión con la RTC, es decir, el reloj en tiempo real que contiene el proyecto.



Figura 13. Montaje con la tarjeta de procesamiento Arduino.

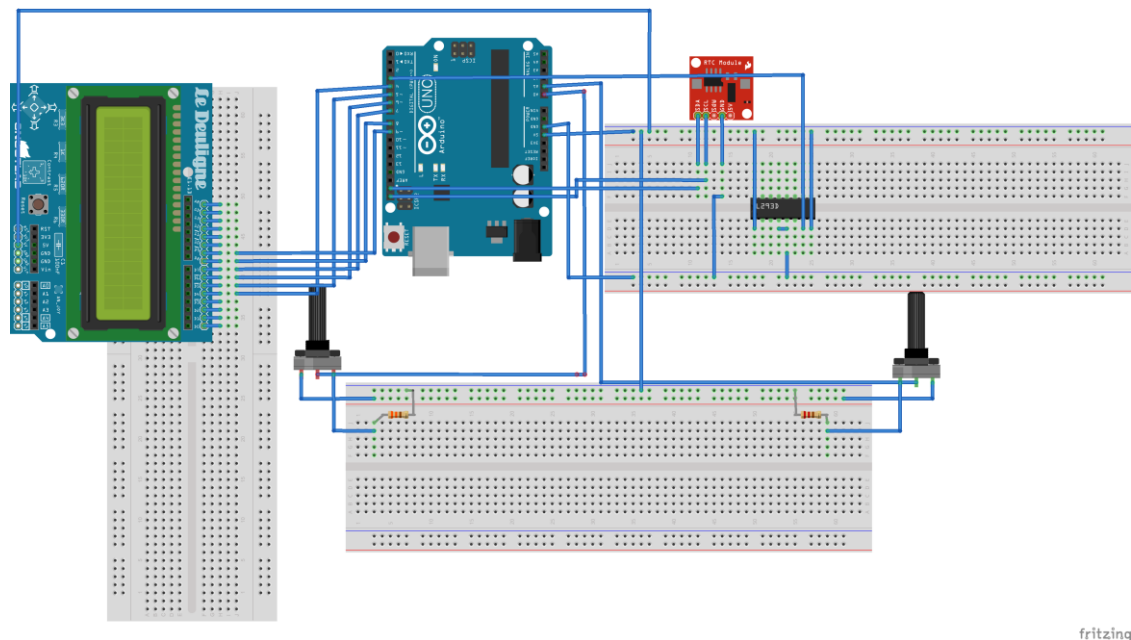


Figura 14. Esquema de conexión del Arduino con el reloj RTC y la pantalla LCD.

Dada la interfaz de comunicación que maneja arduino a través de su software Arduino versión 1.6, se incluyó entre su código de programación la opción de elegir el intervalo y el número de muestras que se desean tomar, generando una base de datos con seguimiento a tiempo real por medio de la RTC. Dicha base de datos se genera a través de un código en Matlab y se muestra en una tabla en Excel.

La señal de voltaje y corriente medida por la bobina de Rogowski se parametrizo haciendo un comparativo con la señal real obtenida en el laboratorio mediante un osciloscopio, de manera tal que se obtuvo la ecuación característica que relaciona dichos valores. De lo anterior se obtuvo la ecuación lineal  $y = 26,667x - 0,6333$  donde “y” es la corriente real y “x” el valor en voltios entregado por el circuito de rectificación al microcontrolador arduino. La figura 16 muestra la ecuación anterior con su respectiva grafica hallada en Excel.

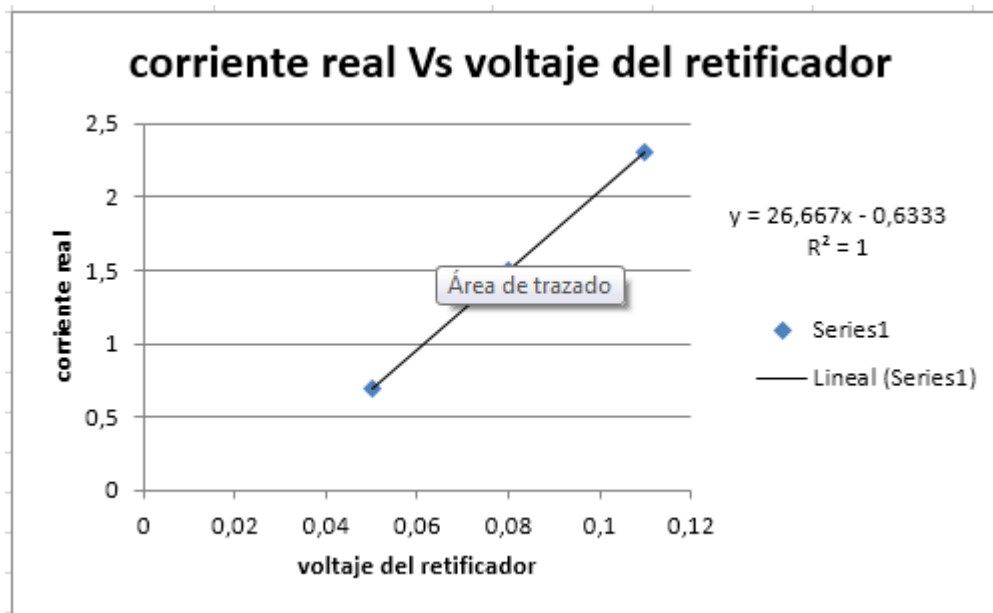


Figura 15. Ecuación lineal que relaciona el valor real de corriente y el voltaje que entra al arduino.

A continuación se describe el código utilizado en la programación del software Arduino, donde el usuario puede alterar la hora de inicio y fin de las mediciones.

```
#include <Wire.h>
#include "RTCLib.h"
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);
RTC_DS1307 RTC;
DateTime future = 0;

int h;
int m;
int s;

void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
```

```
Wire.begin();  
RTC.begin();  
//RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));  
Serial.begin(9600);  
}
```

```
void loop() {  
  DateTime now = RTC.now();  
  h=now.hour();  
  m=now.minute();  
  s=now.second();
```

```
  float sensorvalue0=analogRead(A0);  
  float sensorvalue1=analogRead(A1);  
  float voltaje0=sensorvalue0*(5.0/1023.0);  
  float voltaje1=sensorvalue1*(5.0/1023.0);  
  float hya=h*1023.0/5.0;  
  float mya=m*1023.0/5.0;  
  float sya=s*1023.0/5.0;
```

```
  Serial.println(sensorvalue0);  
  Serial.println(sensorvalue1);  
  Serial.println(h);  
  Serial.println(m);  
  Serial.println(s);
```

```
  lcd.setCursor(0, 0);  
  lcd.print(voltaje0);  
  lcd.print(" Volt");
```

```
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print(voltaje1);  
    lcd.print(" Volt");  
  
    delay(500);  
}
```

Su correspondiente código en Matlab se presenta a continuación:

```
function arduinoorden2(inicioh,iniciom,inicios,finalh,finalm,finals)  
  
close all;  
clc;  
y=zeros(5,1000);  
  
delete(instrfind({'Port'},{'COM3'}));  
puerto_serial=serial('COM3');  
puerto_serial.BaudRate=9600;  
warning('off','Matlab:serial:fscanf:unsuccessfulRead');  
  
fopen(puerto_serial);  
contador_muestras=1;  
  
iniciohs=inicioh*60*60;  
inicioms=iniciom*60;  
finalhs=finalh*60*60;  
finalms=finalm*60;  
numero_muestras=(finalhs+finalms+finals-(iniciohs+inicioms+inicios));  
  
y=zeros(5,numero_muestras);  
  
while (contador_muestras<numero_muestras)  
  
    valor_potenciometro=fscanf(puerto_serial,'%d');  
    h=valor_potenciometro;  
    valor_potenciometro=fscanf(puerto_serial,'%d');  
    m=valor_potenciometro;  
    valor_potenciometro=fscanf(puerto_serial,'%d');  
    s=valor_potenciometro;  
  
    if(h>=inicioh)  
        if(m>=iniciom)  
            if(s>=inicios)  
                y(1,contador_muestras)=h;  
                y(2,contador_muestras)=m;  
                y(3,contador_muestras)=s;  
                valor_potenciometro=fscanf(puerto_serial,'%d');  
                y(4,contador_muestras)=valor_potenciometro*5/1024;
```



```
        valor_potenciometro=fscanf(puerto_serial,'%d');
        y(5,contador_muestras)=valor_potenciometro*5/1024;
        contador_muestras=contador_muestras+1;
    else
        valor_potenciometro=fscanf(puerto_serial,'%d');
        p1=valor_potenciometro;
        valor_potenciometro=fscanf(puerto_serial,'%d');
        p2=valor_potenciometro;
    end

    else
        valor_potenciometro=fscanf(puerto_serial,'%d');
        p1=valor_potenciometro;
        valor_potenciometro=fscanf(puerto_serial,'%d');
        p2=valor_potenciometro;
    end

    else
        valor_potenciometro=fscanf(puerto_serial,'%d');
        p1=valor_potenciometro;
        valor_potenciometro=fscanf(puerto_serial,'%d');
        p2=valor_potenciometro;
    end
end

k=y';
xlswrite('potenciometro5.xlsx',[k]);

fclose(puerto_serial);
delete(puerto_serial);
clear all;
end
```

La figura muestra el documento obtenido en Excel. El usuario debe digitar en el script: `arduinoorden2(inicioh,iniciom,inicios,finalh,finalm,finals)` con la hora, minuto, segundo que desea iniciar y terminar la medición.

Finalmente, la tabla 4 muestra los componentes y materiales utilizados para la etapa de programación.

Tabla 4. Componentes y materiales utilizados para la etapa de programación.

Equipo/material	Cantidad	Característica
Tarjeta Arduino	1	Referencia: UNO
RTC	1	Reloj que conserva el tiempo real
LCD	1	16x2
Cables		
Potenciómetro	2	5 k $\Omega$
Resistencia	1	330 $\Omega$
Protoboard	3	
Conexión USB	1	5 V

## 2.2. Reporte de fase.

Esta etapa de programación permite determinar el ángulo de desfase entre la señal de voltaje y corriente usando las interrupciones que Arduino tiene incorporado en su programación, para ello se utilizan los pines 2 y 3 de los puertos digitales para obtener las interrupciones 0 y 1. De esa manera al entrar las dos señales cuadradas desde el circuito integrado de la bobina de Rogowski por los puertos “DESF.” y “FASE” se logra reportar el tiempo entre ambos flancos de bajada (téngase en cuenta la figura 5) y también la hora, minuto y segundo de la medida.

La hora y la fecha se obtienen del RTC, que es un reloj que se mantiene en tiempo real a pesar de desconexiones.

A continuación se muestra el código utilizado en la programación del software de Arduino para la etapa del reporte de fase.

```
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"
#include <TimeLib.h>
time_t T1, T2 ;      // Contenedores de fechas
RTC_DS1307 RTC;
DateTime future = 0;

volatile int horasec;
volatile int segun;
volatile int segun1;
volatile int segunt;
volatile int angulo;
int a1RTC;
int me1RTC;
int d1RTC;
int h1RTC;
int mi1RTC;
```

```
int s1RTC;

int a2RTC;
int me2RTC;
int d2RTC;
int h2RTC;
int mi2RTC;
int s2RTC;

volatile int contador1 = 0;
volatile int contador2 = 0;
int n1 = contador1 ;
int n2 = contador2 ;

long To1 = 0 ; // Variable global para tiempo
long To2 = 0 ; // Variable global para tiempo

void setup()
{   pinMode(2, INPUT);
    pinMode(3, INPUT);
    Serial.begin(9600);
    attachInterrupt( 0, ServicioBoton0, RISING);
    attachInterrupt( 1, ServicioBoton1, RISING);
    Wire.begin();
    RTC.begin();
    RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
}

void loop()
```

```
{
    DateTime now = RTC.now();
    a1RTC=now.year();
    me1RTC=now.month();
    d1RTC=now.day();
    h1RTC=now.hour();
    mi1RTC=now.minute();
    s1RTC=now.second();

    if (n1 != contador1)
    {
        T1 = SetFecha(a1RTC, me1RTC, d1RTC, h1RTC, mi1RTC, s1RTC); // 13 nov
2014 16:45
        printFecha(T1) ;

        n1 = contador1 ;
    }

    //DateTime now = RTC.now();
    a2RTC=now.year();
    me2RTC=now.month();
    d2RTC=now.day();
    h2RTC=now.hour();
    mi2RTC=now.minute();
    s2RTC=now.second();

    if (n2 != contador2)
    {
        T2 = SetFecha(a2RTC, me2RTC, d2RTC, h2RTC, mi2RTC, s2RTC); // 13 nov
2014 16:45
```

```
    printFecha(T2) ;  
    printFecha(T2 - T1);  
  
    time_t H = T2 - T1 ;  
    Serial.print("T");  
    Serial.print('=');  
    Serial.print(h2RTC);  
    Serial.print(':');  
    Serial.print(mi2RTC);  
    Serial.print(':');  
    Serial.println(s2RTC);  
  
    Serial.println(String(second(H)));  
    n2 = contador2 ;  
    }  
  
}  
  
void ServicioBoton0()  
{  
    if ( millis() > To1 + 250)  
    {  
        contador1++ ;  
        To1 = millis();  
    }  
}  
  
void ServicioBoton1()  
{  
    if ( millis() > To2 + 250)  
    {  
        contador2++ ;
```

```
        To2 = millis();  
    }  
}  
  
void printFecha(time_t t)  
{  
}  
  
time_t SetFecha(int y, int m, int d, int h, int mi, int s )  
{ tmElements_t Fecha ;  
    Fecha.Second = s;  
    Fecha.Minute = mi;  
    Fecha.Hour = h;  
    Fecha.Day = d ;  
    Fecha.Month = m ;  
    Fecha.Year = y -1970 ;  
  
    return makeTime(Fecha); }
```

### 2.3. Conexión inalámbrica.

La conexión inalámbrica se implementa utilizando la opción que proporciona la tarjeta de arduino de conectarle un módulo bluetooth a través de uno de sus puertos, por medio de la cual se envía los valores de las medidas tomadas a un dispositivo móvil en tiempo real, entregando valores de voltaje y corriente del consumo de la carga. El dispositivo móvil debe tener tecnología Android y descargar una aplicación llamada **bluetooth terminal HC-5** el cual es de fácil aplicación y manejo. Cabe resaltar que el alcance de esta conexión se encuentra en un rango de 1 a 50 metros en espacio libre, pudiendo ser mejorada por un módulo bluetooth de mejor capacidad y mayor costo (por lo cual no fue utilizado). La medida del desfase entre las señales de voltaje y corriente se visualiza en la parte derecha de la pantalla lcd. la medida y comparación del tiempo de desfase se logró empleando el osciloscopio y el analizador de armónicos.

A continuación, se describe el código usado para la visualización y transmisión de las señales de voltaje y corriente al dispositivo móvil.

```
#include <Wire.h>
#include "RTCLib.h"
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // set the LCD address to 0x27 for a 16 chars and 2
line display

DateTime future = 0;
volatile int corriente;
volatile int voltaje1;

void setup() {
```



```
    lcd.begin(16, 2);  
    Wire.begin();  
    Serial.begin(9600);  
}  
  
void loop()  
{  
    float sensorvalue1=analogRead(A1);  
    float voltaje1=sensorvalue1*(5.0/775.0)-(0.02);  
    delay(500);  
    float corriente=(26.66)*(voltaje1)-(0.63);  
    Serial.println(sensorvalue1);  
    lcd.init();  
    lcd.backlight();  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print("co:");  
    lcd.print(corriente);  
    //lcd.setCursor(0, 12);  
    //lcd.print("117v:");  
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print("vo:");  
    lcd.print(voltaje1);  
    delay(1000);  
}
```

La figura 16 muestra el modulo bluetooth asociado a la tarjeta arduino y la figura 17 muestra el icono del programa bluetooth terminal HC-5 descargado en el móvil para la conexión inalámbrica.

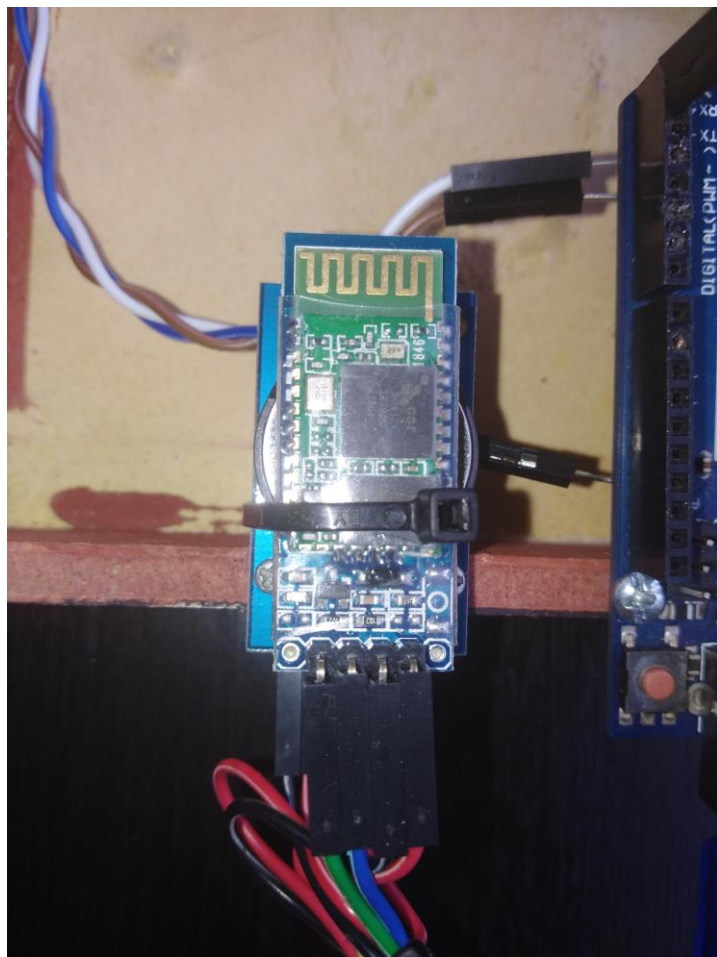


Figura 16. Modulo bluetooth asociado a la tarjeta Arduino



Figura 17. Icono del programa bluetooth terminal HC-5

La tabla 5 muestra los componentes usados para la conexión inalámbrica

Equipo/material	Cantidad	Característica
Modulo bluetooth	1	Referencia: UNO
Teléfono móvil	1	Tecnología Android
LCD	1	16x2

### **3. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Dado el buen funcionamiento del dispositivo implementado se procede a efectuar las pruebas correspondientes al proyecto, para esto se toman datos de las mediciones de corriente hechas con la bobina de Rogowski y se comparan con las mediciones proporcionadas por un instrumento de medida muy bien calibrado. Para lo anterior se utilizó el equipo de medida Analizador de armónicos Model 41B Power Harmonics Analyzer, marca FLUKE, que está provisto de una pinza amperimétrica también de FLUKE referenciada como AC/DC Current Probe. Para la medición del ángulo de desfase entre la señal de corriente y voltaje se utilizó un osciloscopio proporcionado por el laboratorio de la universidad tecnológica de Pereira.

#### **3.1. Medición de corriente y desfase.**

En esta experimentación, se montó un circuito en paralelo compuesto por bombillas incandescentes de 100 W; donde se fue aumentando paulatinamente la cantidad de bombillas. Los datos obtenidos se reportaron en la tabla 6 y el respectivo error en la tabla 7.

Tabla 6. Resultados de las mediciones de corriente del circuito resistivo (bombillas incandescentes de 100 W) con la bobina de Rogowski y el analizador de armónicos.

Cantidad de bombillas	Potencia aproximada (W)	Medición de corriente con la bobina de rogowski (A)	Medición de corriente con el analizador de armónicos (A)
1	100	0,87	0,84
2	200	1,74	1,78
3	300	2,61	2,73
4	400	3,40	3,65
5	500	3,86	4,13
6	600	4,79	5,07
7	700	5,81	6,06
8	800	6,77	7,01

Tabla 7. Error calculado de las mediciones de corriente del circuito resistivo (bombillas incandescentes de 100 W).

Cantidad de bombillas	Error porcentual de las mediciones
1	3,5
2	2,2
3	4,4
4	6,8
5	6,5
6	5,5
7	4,1
8	3,4

Para la segunda experimentación se montó un circuito en paralelo compuesto por inductancias de 280 mH; donde se fue aumentando paulatinamente la cantidad de estas. Los datos obtenidos de corriente se reportaron en la tabla 8 y el respectivo error en la tabla 9. De igual manera, los datos obtenidos del desfase y error se reportaron en la tabla 10 y 11.

Tabla 8. Resultados de las mediciones de corriente del circuito inductivo (inductancias de 280 mH) con la bobina de Rogowski y el analizador de armónicos.

Cantidad de inductancias	valor aproximado (mH)	Medición de corriente con la bobina de rogowski (A)	Medición de corriente con el analizador de armónicos (A)
1	280	0,21	0,29
2	560	0,37	0,43
3	840	0,55	0,67
4	1120	0,70	0,96

Tabla 9. Error calculado de las mediciones de corriente del circuito inductivo (inductancias de 280 mH).

Cantidad de inductancias	Error porcentual de las mediciones
1	27,5
2	13,9
3	17,9
4	27

Tabla 10. Resultados de las mediciones de desfase del circuito inductivo (inductancias de 280 mH) con la bobina de Rogowski y el analizador de armónicos.

Cantidad de inductancias	valor aproximado (mH)	Medición de desfase con la bobina de rogowski (radianes)	Medición de desfase con el analizador de armónicos (radianes)
1	280	0,01	1,38
2	560	0,42	1,40
3	840	0,83	1,41
4	1120	0,96	1,41

Tabla 11. Error calculado de las mediciones de desfase del circuito inductivo (inductancias de 280 mH).

Cantidad de inductancias	Error porcentual de las mediciones
1	99,2
2	70,3
3	41,1
4	31,4



La siguiente experimentación abarca la combinación de cargas de tipo resistivo (bombillas incandescentes de 100 W) y cargas de tipo inductivo (inductancias de 280 mH), donde se conectaron cargas en paralelo de distinto valor. Los datos obtenidos de corriente se reportaron en la tabla 12 y el respectivo error en la tabla 13. De igual manera, los datos obtenidos del desfase y error se reportaron en la tabla 14 y 15.

Tabla 12. Resultados de las mediciones de corriente de la combinación de circuito inductivo (inductancias de 280 mH) y resistivo (bombillas de 100 W) con la bobina de Rogowski y el analizador de armónicos.

Cantidad de inductancias de 280 mH	Cantidad de bombillas de 100 W	Medición de corriente con la bobina de rogowski (A)	Medición de corriente con el analizador de armónicos (A)
1	2	1,9	1,12
2	2	1,96	1,32
3	2	2,1	1,56
1	4	3,78	3,53
2	4	3,81	3,62
3	4	3,85	3,71

Tabla 13. Error calculado de las mediciones de corriente de la combinación de circuito inductivo (inductancias de 280 mH) y resistivo (bombillas de 100 W) con la bobina de Rogowski y el analizador de armónicos.

<b>Cantidad de inductancias</b>	<b>Error porcentual de las mediciones</b>
1	41,05
2	32,65
3	25,71
4	6,61
5	4,98
6	3,63

Tabla 14. Resultados de las mediciones de desfase de la combinación de circuito inductivo (inductancias de 280 mH) y resistivo (bombillas de 100 W) con la bobina de Rogowski y el analizador de armónicos.

<b>Cantidad de inductancias de 280 mH</b>	<b>Cantidad de bombillas de 100 W</b>	<b>Medición de desfase con la bobina de rogowski (radianes)</b>	<b>Medición de desfase con el analizador de armónicos (radianes)</b>
1	2	0,07	0,2
2	2	0,3	0,36
3	2	0,4	0.57

Tabla 15. Error calculado de las mediciones de desfase de la combinación de circuito inductivo (inductancias de 280 mH) y resistivo (bombillas de 100 W) con la bobina de Rogowski y el analizador de armónicos.

Cantidad de inductancias	Error porcentual de las mediciones
1	65
2	16,7
3	17

El estudio realizado se hizo para cargas de tipo resistivo e inductivo debido al tipo de cargas que maneja el sistema eléctrico de baja tensión donde la mayor parte de estas tienen características resistivas e inductivas. A continuación las figuras 18, 19 y 20 muestran la función del error sistemático de las medidas tomadas por los dos dispositivos de medida. , Dicho error está caracterizado por una curva con su respectiva función llamada curva de calibración la cual permite obtener el valor aproximado del error que se le debe sumar o restar a la medida original con el fin de precisar de una manera eficiente cuál será el valor real. Esa será una característica que deberá ser sumada dentro del diseño del sensor para proporcionar una medida confiable.

Figura 18. Función de error entre las medidas de corriente del circuito resistivo

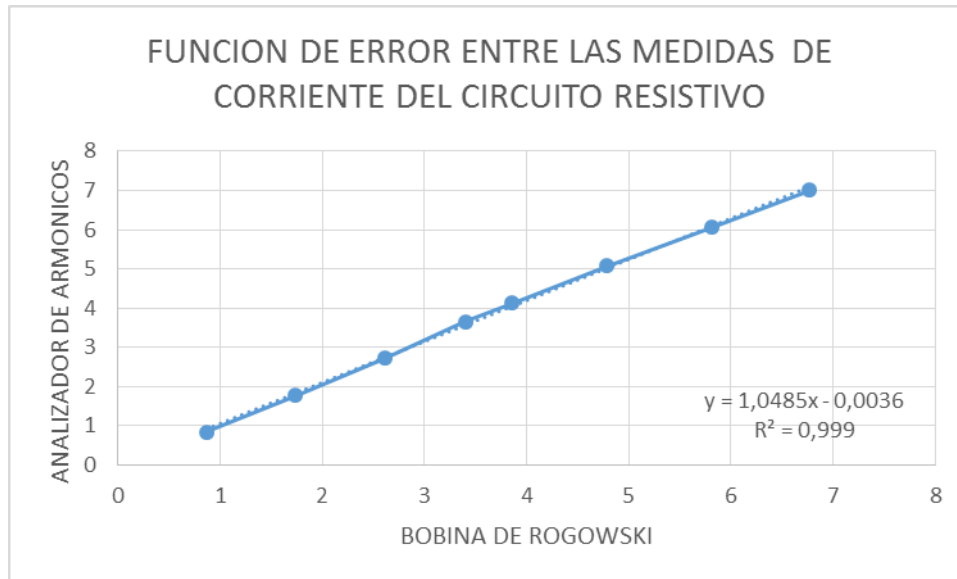


Figura 19. Función de error entre las medidas de corriente del circuito inductivo

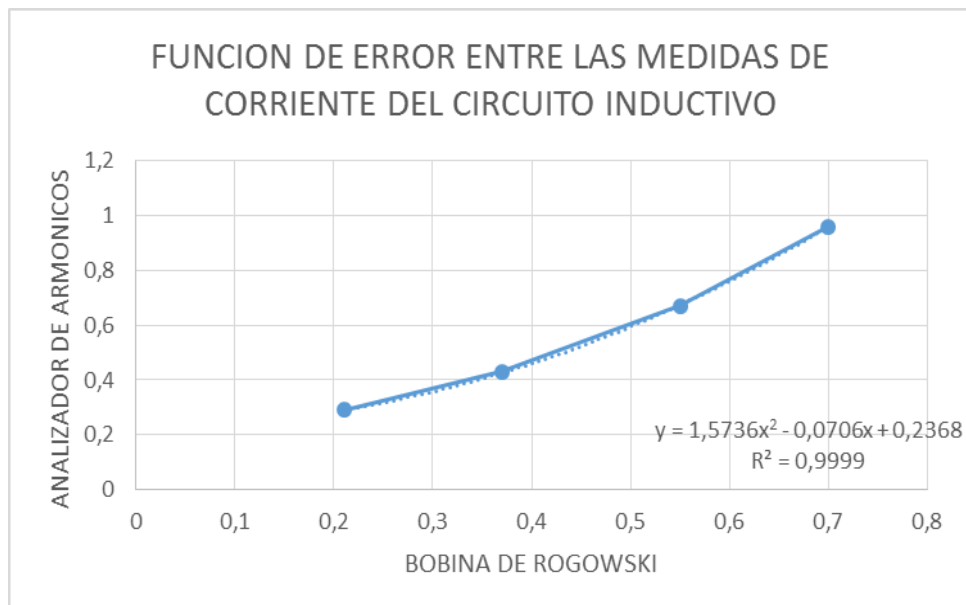
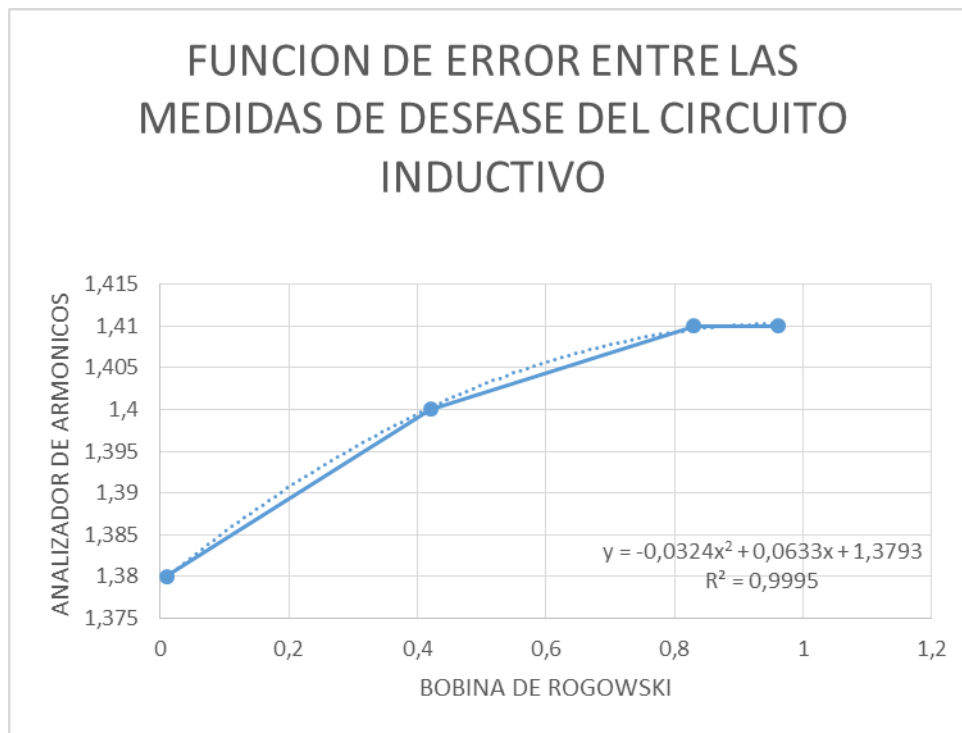


Figura 20. Función de error entre las medidas de desfase del circuito inductivo



#### 4. Etapa de programación de Arduino y transmisión inalámbrica.

En cuanto a la etapa de programación y transmisión se obtiene el resultado que se muestra en la figura 21, figura 22 y figura 23.

	A	B	C	D	E
1	17	13	0	1,05957	2,592773
2	17	13	1	1,05957	2,578125
3	17	13	2	1,05957	2,587891
4	17	13	3	1,05957	2,592773
5	17	13	4	1,05957	2,583008
6	17	13	5	1,05957	2,583008
7	17	13	6	1,05957	2,583008
8	17	13	7	1,05957	2,587891
9	17	13	8	1,05957	2,592773
10	0	0	0	0	0

Figura 21. Documento de Excel de la etapa de programación.



Figura 22. Visualización de la pantalla LCD durante la ejecución del programa.

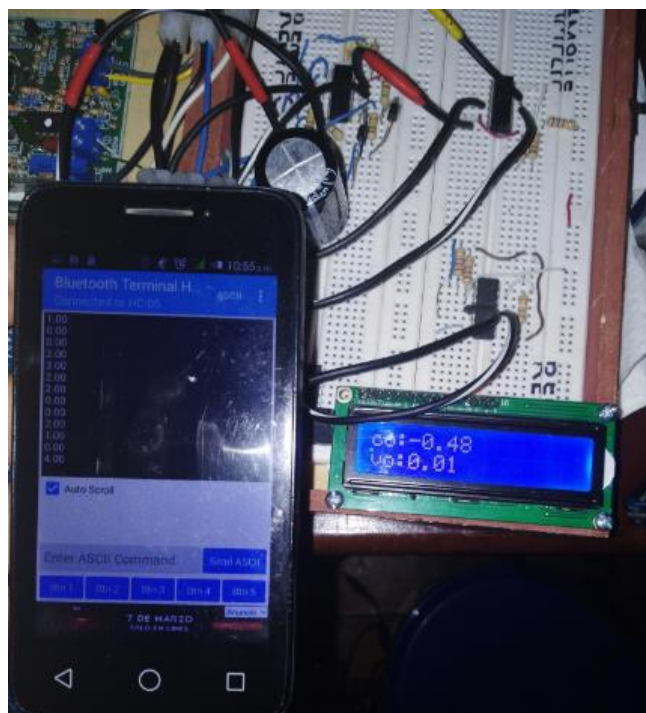


Figura 23. Visualización de las variables voltaje y corriente en el dispositivo móvil.

## 5. CONCLUSIONES, APORTES Y RECOMENDACIONES

1. El presente proyecto culmina con éxito, entregando una valiosa herramienta que permite el monitoreo de variables eléctricas en tiempo real con una característica fundamental como lo es la transición inalámbrica, permitiendo de esta forma la evolución de los sistemas de medida que son tan necesarios en la actualidad.
2. El bajo costo del sistema implementado en este proyecto hace que su adquisición e implementación sea de fácil acceso para las personas que deseen utilizarlo.
3. Este sistema se puede catalogar como un medidor tecnológico de gran capacidad, que proporcionará mejoras en los distintos sistemas eléctricos de potencia dado que cumple varias funciones según sea la necesidad del operario; un claro ejemplo de esto es en la parte industrial donde se puede usar como un medidor de potencia de motores entregando datos en tiempo real.
4. El presente dispositivo permitirá que los procesos de medición sean más rápidos y prácticos, mejorando de esta forma los gastos en personal y en procesos innecesarios a la hora de tomar medidas de variables eléctricas.
5. A medida que el tiempo avanza la tecnología proporciona mejoras constantes en los sistemas de medición, por lo tanto se hace necesario adecuar el sistema del presente proyecto a tecnologías que incrementen la capacidad y evolución del mismo.
6. Cabe resaltar que el sistema creado en este proyecto está construido con elementos básicos de electrónica, es decir, debido al carácter académico del proyecto y a la poca inversión económica, el sistema puede ser implementado con mejoras tecnológicas que hagan crecer su capacidad de transmisión y también el almacenamiento de datos.
7. Es importante resaltar la importancia de este tipo de proyectos que incentivan al estudiante a estar en un constante aprendizaje, fomentando un espíritu investigativo que se debe acrecentar en cada alumno.
8. Este proyecto abre las puertas a nuevas mejoras del mismo e incursión de nuevas alternativas tecnológicas a la hora de hacer mediciones de variables eléctricas.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Luis E. Avendaño M. FUNDAMENTOS DE INSTRUMENTACIÓN. Editorial Publicaciones Universidad Tecnológica de Pereira, 2009.
- [2] Fluke® HERRAMIENTAS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA PARA APLICACIONES COMERCIALES E INDUSTRIALES. [http://support.fluke.com/find-sales/download/asset/4134895\\_6112\\_spa\\_c\\_w.pdf](http://support.fluke.com/find-sales/download/asset/4134895_6112_spa_c_w.pdf), 2011.
- [3] Paessler: The Network Monitoring Company. (24 de Febrero de 2017). Paessler: The Network Monitoring Company. PRTG: FINALMENTE EXISTE UNA HERRAMIENTA DE MONITORIZACIÓN DE REDES QUE ES POTENTE Y FÁCIL DE USAR.[https://www.es.paessler.com/network\\_monitoring\\_tool?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=ROW\\_ES\\_DSA\\_Categories&utm\\_adgroup=servidores&utm\\_adnum=dsa\\_es\\_01&utm\\_campaignid=635611844&utm\\_adgroupid=26150983112&utm\\_targetid=dsa-165416541378&utm\\_customerid=886-943-0596&utm\\_location=1003665&gclid=CIHqrb3MhNICFQoGhgod8ycBZg](https://www.es.paessler.com/network_monitoring_tool?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=ROW_ES_DSA_Categories&utm_adgroup=servidores&utm_adnum=dsa_es_01&utm_campaignid=635611844&utm_adgroupid=26150983112&utm_targetid=dsa-165416541378&utm_customerid=886-943-0596&utm_location=1003665&gclid=CIHqrb3MhNICFQoGhgod8ycBZg). 2017.
- [4] Schneider Electric. POWER MONITORING EXPERT 8.1. (24 de Febrero de 2017). Schneider-Electric. <http://www.schneider-electric.com/en/product-range-presentation/62919-power-monitoring-expert-8.1>.
- [5] Andrés F. Calvo, Germán A Holguín L. INSTRUMENTACIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA. Universidad Tecnológica de Pereira. 2014.
- [6] Brian W. Evans. ARDUINO PROGRAMMING NOTEBOOK: A BEGINNER'S REFERENCE, 2008, Brian W. Evans.
- [7] Manuel G. Rodriguez. INTRODUCCIÓN RÁPIDA A MATLAB Y SIMULINK PARA CIENCIA E INGENIERÍA, Editorial Ediciones Díaz de Santos, 2003.
- [8] Fluke® (24 de Febrero de 2017) FLUKE BRANDS [www.fluke.com](http://www.fluke.com).

Pereira, 22 de febrero del 2019

---

**Estudiante I**

**Luis Hernando Ríos Gonzales**

---

**Director del trabajo de grado**